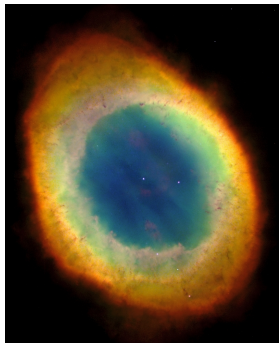
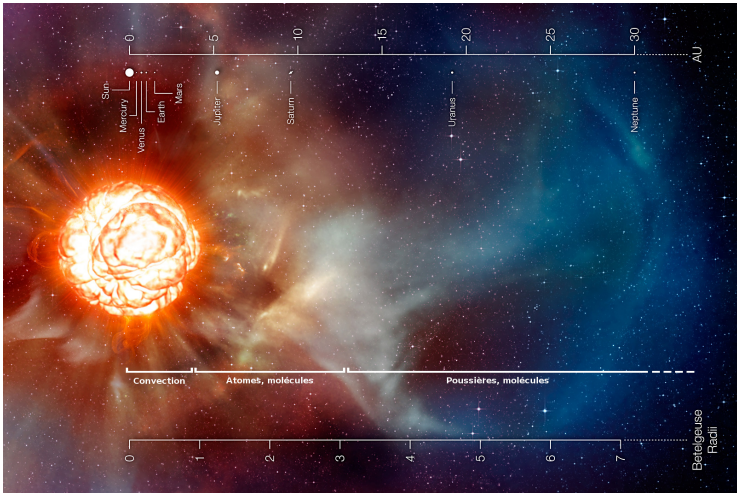


Les nébuleuses planétaires



Crédits : HST

L'environnement des SuperGéantes Rouges (SGR)



Vue d'artiste (ESO)

Les interrogations

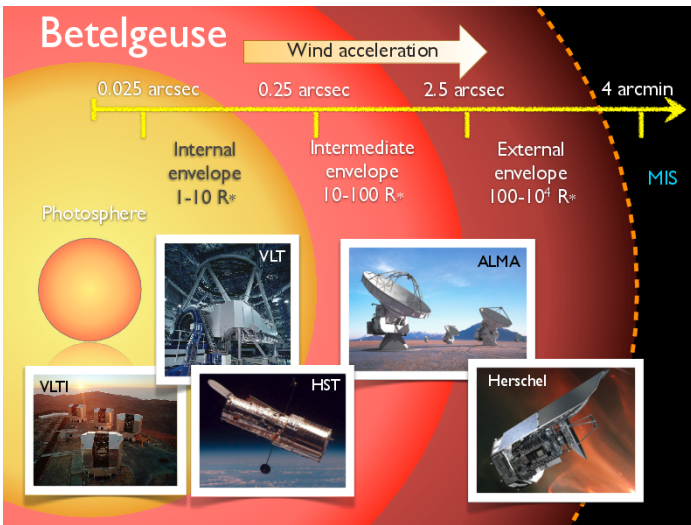
Étoiles de masse $< 10 M_{\odot}$:

- Comment former une nébuleuse planétaire non-sphérique (bi-polaire) ?

Étoiles de masse $> 10 M_{\odot}$:

- Comment est déclenchée la perte de masse des SGRs ?
- Quels sont les mécanismes de condensation de la poussière ?

La nécessité de la Haute Résolution Angulaire



Crédits : P. Kervella

Résolution d'un télescope classique

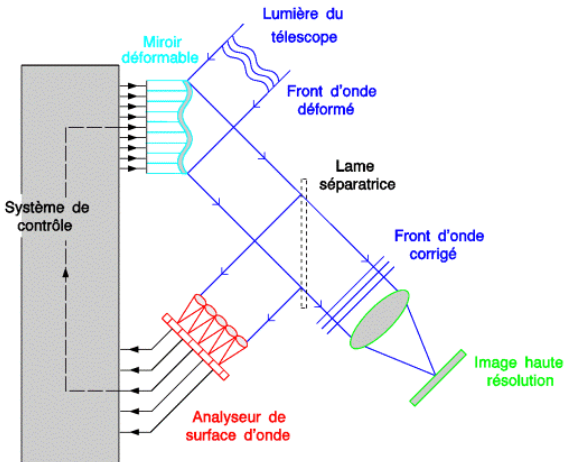
Résolution d'un télescope de 8,2 m de diamètre à 1,6 μm :

$$\theta_0 = 1,22 \frac{\lambda}{D} \sim 50 \text{ mas}$$

Avec une atmosphère à 1,6 μm :

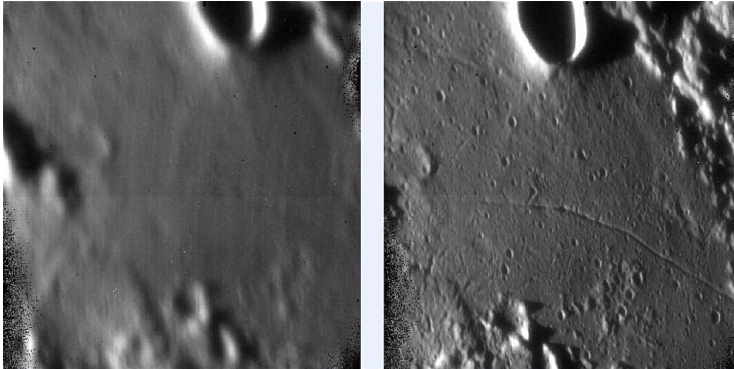
$$\theta_0 = 1,22 \frac{\lambda}{r_0} \sim 650 \text{ mas}$$

Principe de l'optique adaptative



Crédits : LESIA/Observatoire de Paris

Un exemple concret avec la Lune

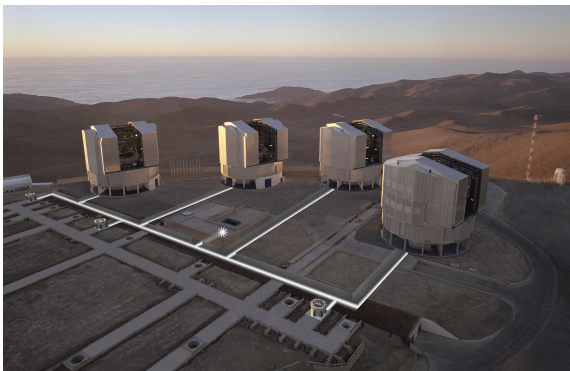


Crédits : NAOS

Vers une meilleure résolution angulaire

- $\theta_0 = 1,22 \frac{\lambda}{D}$
- $\theta_0 = 50$ mas pour un UT des VLT
- Diamètre de Bételgeuse : ~ 42 mas

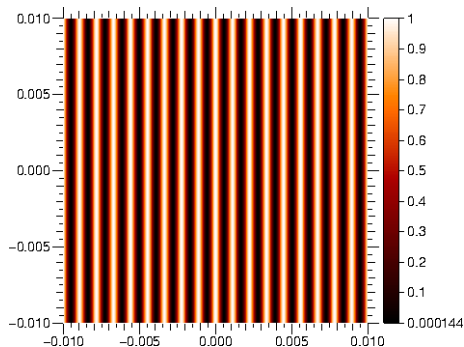
La solution : l'interférométrie



Crédits : ESO

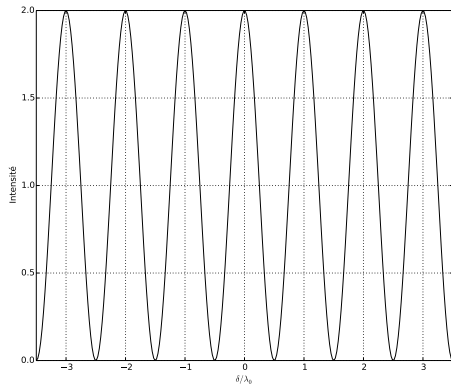
Principe de l'interférométrie (en bref)

- Obtention d'un interférogramme



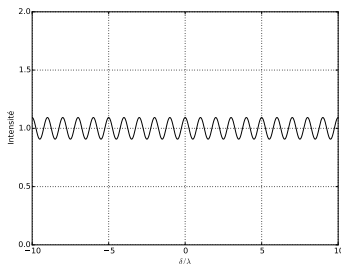
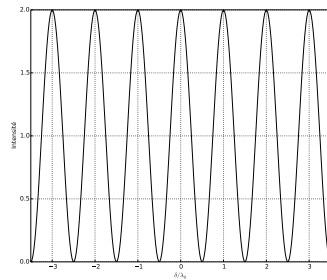
Principe de l'interférométrie (en bref)

- Obtention d'un interférogramme



Principe de l'interférométrie (en bref)

- Obtention d'un interférogramme
- Caractéristique : degré complexe de cohérence mutuelle $\mu(u, v)$
- $|\mu(u, v)| = |V| = \left| \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \right|$



Principe de l'interférométrie (en bref)

- ★ Théorème de Zernike Van-Cittert :

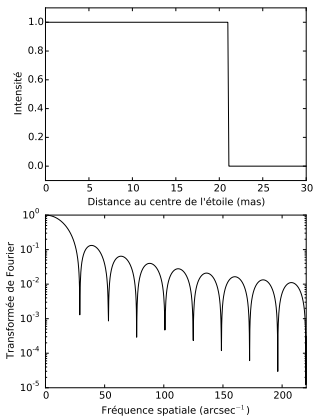
$$\mu(u, v) = \frac{\text{TF}(\text{source})}{\mu_{\text{source}}^{\text{tot}}}$$

Principe de l'interférométrie (en bref)

- ★ Théorème de Zernike Van-Cittert :

$$\mu(u, v) = \frac{\text{TF}(\text{source})}{\mu_{\text{source}}^{\text{tot}}}$$

- $V_{\text{UD}} = \frac{J_1(\pi \times fs \times \theta_*)}{\pi \times fs \times \theta_*}$



Principe de l'interférométrie (en bref)

- ★ Théorème de Zernike Van-Cittert :

$$\mu(u, v) = \frac{\text{TF}(\text{source})}{\mu_{\text{source}}^{\text{tot}}}$$

- $V_{\text{UD}} = \frac{J_1(\pi \times f_s \times \theta_*)}{\pi \times f_s \times \theta_*}$

- Lien interférogramme ↔ distribution lumineuse de la source

Principe de l'interférométrie (en bref)

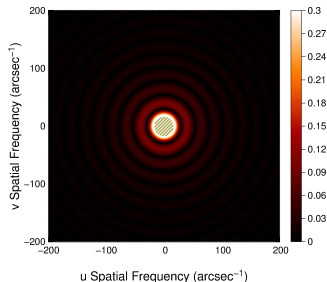
- ★ Théorème de Zernike Van-Cittert :

$$\mu(u, v) = \frac{\text{TF}(\text{source})}{I_{\text{source}}^{\text{tot}}}$$

- $V_{\text{UD}} = \frac{J_1(\pi \times f_s \times \theta_*)}{\pi \times f_s \times \theta_*}$

- Lien interférogramme ↔ distribution lumineuse de la source

- Observations avec un télescope monolithique ~ interférométrie



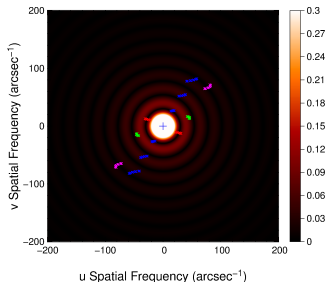
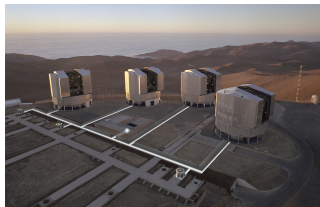
Principe de l'interférométrie (en bref)

★ Théorème de Zernike Van-Cittert :

$$\mu(u, v) = \frac{\text{TF}(\text{source})}{\text{TF}_{\text{source}}^{\text{tot}}}$$

● $V_{\text{UD}} = \frac{J_1(\pi \times fs \times \theta_*)}{\pi \times fs \times \theta_*}$

- Lien interférogramme ↔ distribution lumineuse de la source
- Observations avec un télescope monolithique ~ interférométrie
- Interférométrie longue base = échantillonnage plan (u, v)



Interférométrie : les observables

3 observables :

- Visibilité = Amplitude de la TF (1 base)

Interférométrie : les observables

3 observables :

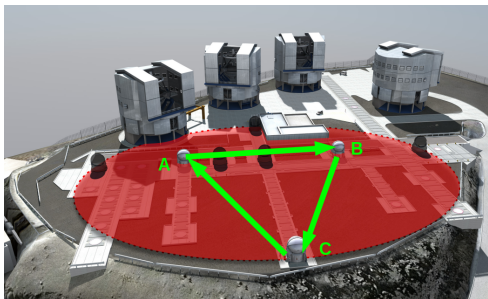
- Visibilité = Amplitude de la TF (1 base)

⚠ Phase perturbée par l'atmosphère

Interférométrie : les observables

3 observables :

- Visibilité = Amplitude de la TF (1 base)
- ⚠ Phase perturbée par l'atmosphère
- Clôture de phase = Somme des phases mesurées par 3 bases différentes



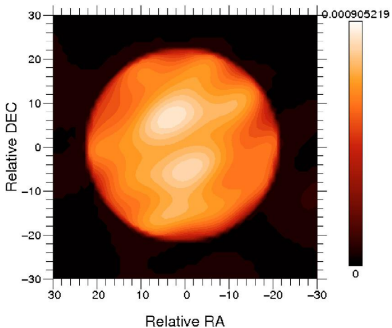
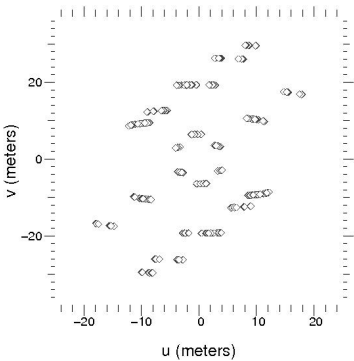
Interférométrie : les observables

3 observables :

- Visibilité = Amplitude de la TF (1 base)
- ⚠ Phase perturbée par l'atmosphère
- Clôture de phase = Somme des phases mesurées par 3 bases différentes
- Variable : fréquence spatiale (B/λ)

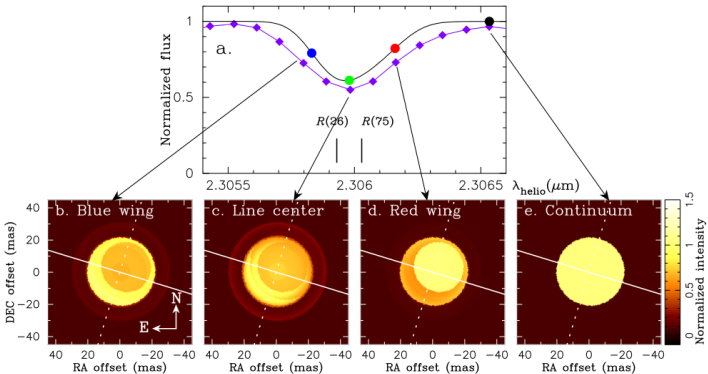
Précédentes observations

- Uitenbroek et al. 1998 :
Spectroscopie UV avec HST → point chaud + champ de vitesse
- Haubois et al. 2009 :
Interférométrie IR avec IOTA → points chauds + reconstruction d'image

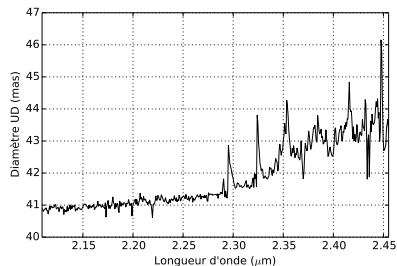
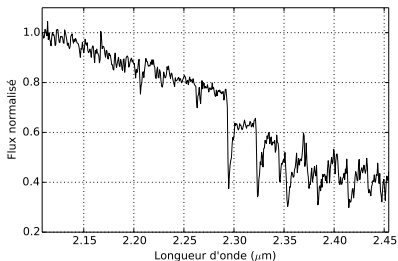


Précédentes observations

- Uitenbroek et al. 1998 :
Spectroscopie UV avec HST → point chaud + champ de vitesse
- Haubois et al. 2009 :
Interférométrie IR avec IOTA → points chauds + reconstruction d'image
- Ohnaka et al. 2011 :
Interf. IR avec VLT/AMBER → Modèle : mouvements de CO

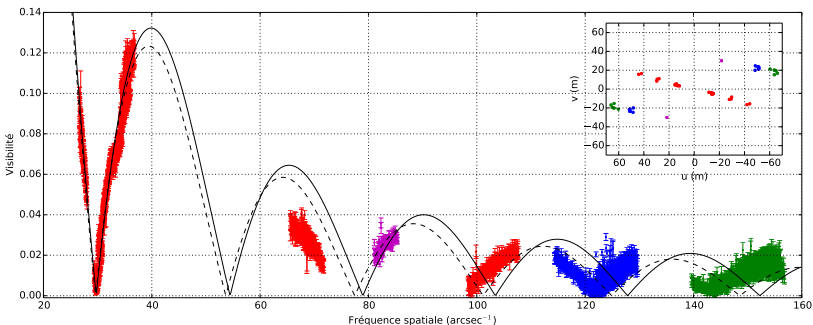


VLTI/AMBER - Analyse préliminaire



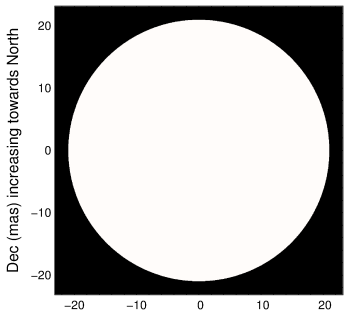
VLTI/AMBER - Domaine continu - Modèles analytiques

Domaine continu ($\lambda \in [2,1; 2,245 \mu\text{m}]$)

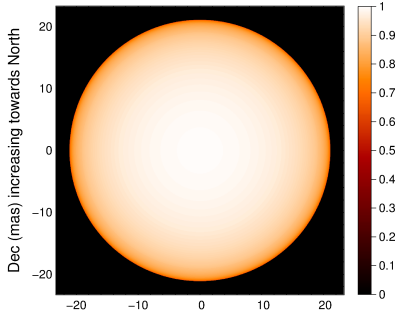


VLTI/AMBER - Domaine continu - Modèles analytiques

Domaine continu ($\lambda \in [2,1; 2,245 \mu\text{m}]$)



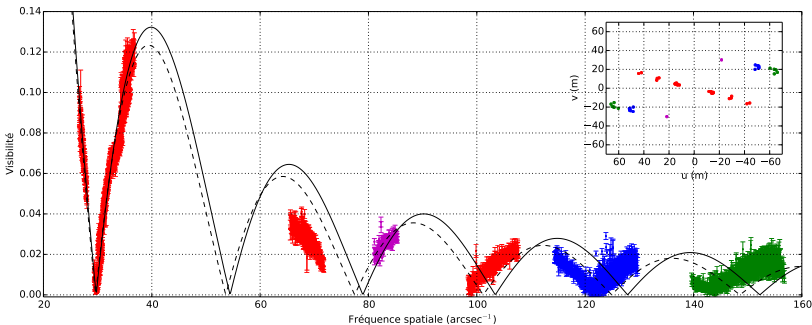
R.A. (mas) increasing towards East



R.A. (mas) increasing towards East

VLTI/AMBER - Domaine continu - Modèles analytiques

Domaine continu ($\lambda \in [2,1; 2,245 \mu\text{m}]$)

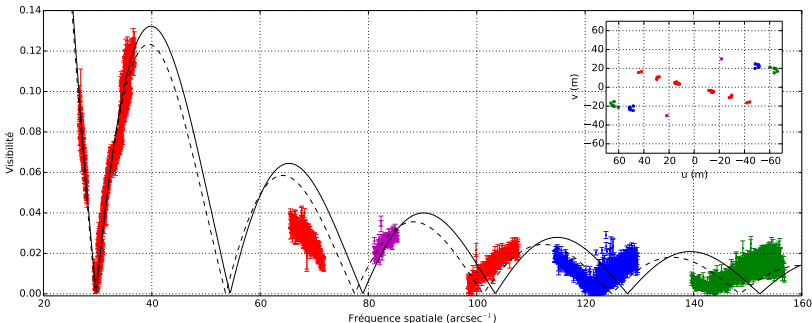


$$\theta_{\text{DU}} = 40,9 \pm 0,52 \text{ mas}; \quad \chi_r^2 = 5,27 \quad (\text{continu})$$

$$\theta_{\text{ACB}} = 41,8 \pm 0,57 \text{ mas}; \quad \alpha = 0,10 \pm 0,02; \quad \chi_r^2 = 4,89 \quad (\text{pointillés})$$

VLTI/AMBER - Domaine continu - Modèles analytiques

Domaine continu ($\lambda \in [2,1; 2,245 \mu\text{m}]$)



$\theta_{\text{DU}} = 40,9 \pm 0,52 \text{ mas}; \quad \chi_r^2 = 5,27 \quad (\text{continu})$

$\theta_{\text{ACB}} = 41,8 \pm 0,57 \text{ mas}; \quad \alpha = 0,10 \pm 0,02; \quad \chi_r^2 = 4,89 \quad (\text{pointillés})$

⇒ Ecart au-delà de 60 arcsec^{-1} : structures photosphériques ($\chi_r^2 > 50$)

VLT/AMBER - Domaine continu - Simulations RHD

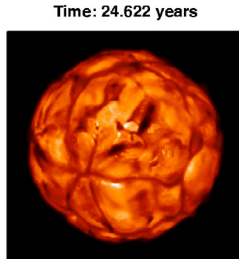
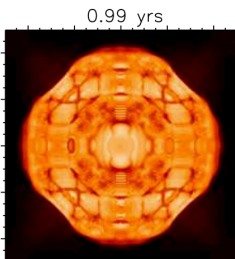
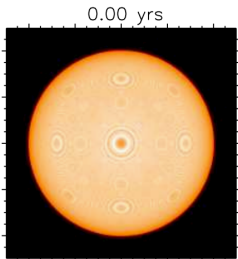
Ajuster des simulations RHD à des données interférométriques (Chiavassa et al. 2011) :

- Disposer d'un modèle stellaire (CO⁵BOLD, Freytag et al. 2012)

VLTI/AMBER - Domaine continu - Simulations RHD

Ajuster des simulations RHD à des données interférométriques (Chiavassa et al. 2011) :

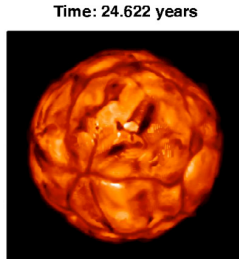
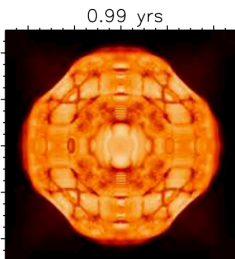
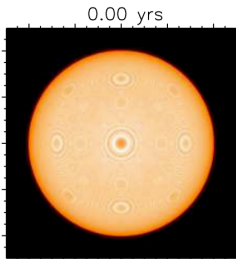
- Disposer d'un modèle stellaire (CO⁵BOLD, Freytag et al. 2012)
- Laisser le modèle évoluer suffisamment longtemps



VLTI/AMBER - Domaine continu - Simulations RHD

Ajuster des simulations RHD à des données interférométriques (Chiavassa et al. 2011) :

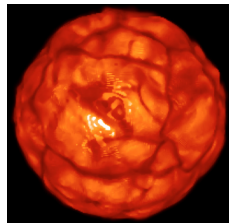
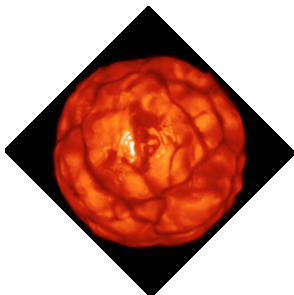
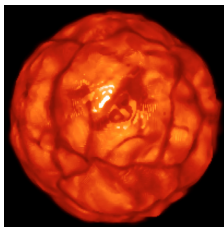
- Disposer d'un modèle stellaire (CO⁵BOLD, Freytag et al. 2012)
- Laisser le modèle évoluer suffisamment longtemps
- Prendre (beaucoup) de « clichés » (autant de réalisations du motif convectif)



VLTI/AMBER - Domaine continu - Simulations RHD

Ajuster des simulations RHD à des données interférométriques (Chiavassa et al. 2011) :

- Disposer d'un modèle stellaire (CO⁵BOLD, Freytag et al. 2012)
- Laisser le modèle évoluer suffisamment longtemps
- Prendre (beaucoup) de « clichés » (autant de réalisations du motif convectif)
- Effectuer des rotations (méconnaissance de l'orientation sur le ciel)

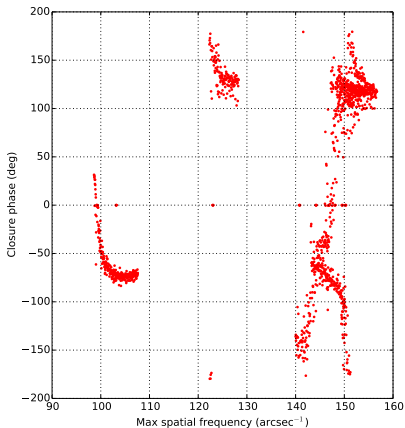
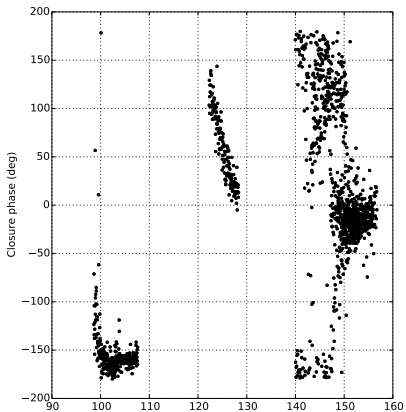


VLTI/AMBER - Domaine continu - Simulations RHD

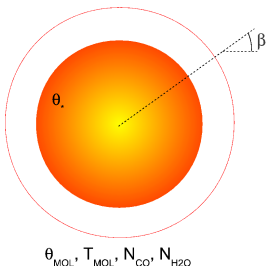
Ajuster des simulations RHD à des données interférométriques (Chiavassa et al. 2011) :

- Disposer d'un modèle stellaire (CO⁵BOLD, Freytag et al. 2012)
- Laisser le modèle évoluer suffisamment longtemps
- Prendre (beaucoup) de « clichés » (autant de réalisations du motif convectif)
- Effectuer des rotations (méconnaissance de l'orientation sur le ciel)
- TF pour obtenir les observables interférométriques

VLTI/AMBER - Domaine continu - Simulations RHD



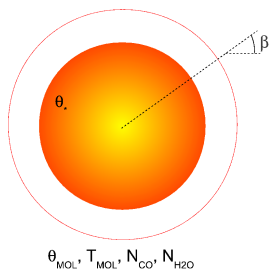
Bandes d'absorption de CO et H₂O ($\lambda \in [2,245; 2,45\mu\text{m}]$)



Modèle de couche fine au LTE (Perrin et al. 2004)

→ 5 paramètres : θ_* , θ_{MOL} , T_{MOL} , N_{CO} , $N_{\text{H}_2\text{O}}$

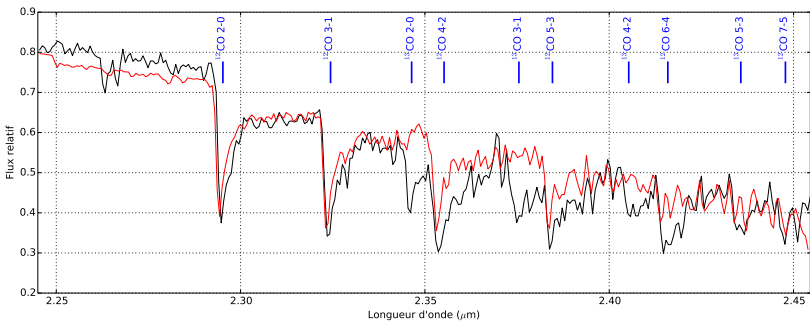
Bandes d'absorption de CO et H₂O ($\lambda \in [2,245; 2,45\mu\text{m}]$)



Modèle de couche fine au LTE (Perrin et al. 2004)

- 5 paramètres : θ_* , θ_{MOL} , T_{MOL} , N_{CO} , $N_{\text{H}_2\text{O}}$
- Paramètres non-indépendants : cartes de χ^2

Bandes d'absorption de CO et H₂O ($\lambda \in [2,245; 2,45\mu\text{m}]$)

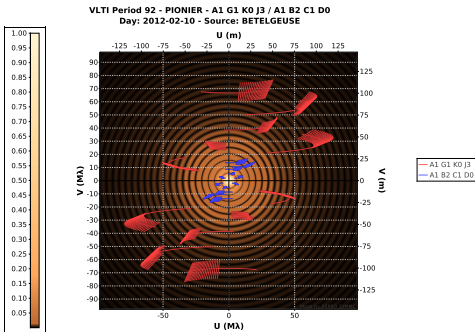


- $T_{\text{MOL}} = 2300 \pm 50 \text{ K}$
- $\theta_{\text{MOL}} = 51,38 \pm 0,70 \text{ mas}$
- $R_{\text{MOL}} = 1,22 \pm 0,02 R_*$
- $N_{\text{CO}} = (1,53 \pm 0,6) \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$
- $N_{\text{H}_2\text{O}} = (3,28 \pm 0,7) \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$
- $\chi_r^2 \sim 6$

Données AMBER : bilan

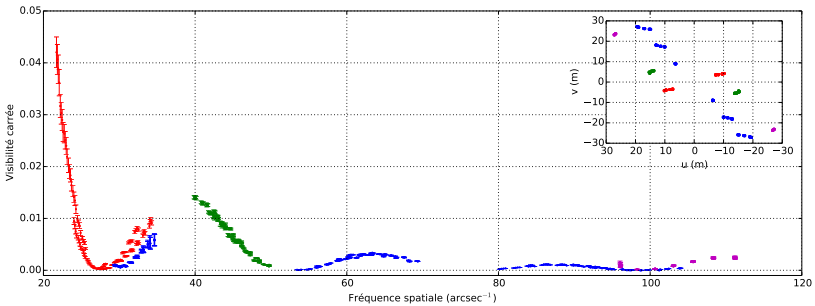
- Mesure du diamètre apparent dans le domaine continu
- Signature de la convection identifiée par les simulations RHD
- Caractéristiques de l'enveloppe moléculaire de H₂O et CO

Bételgeuse avec VLT/PIONIER



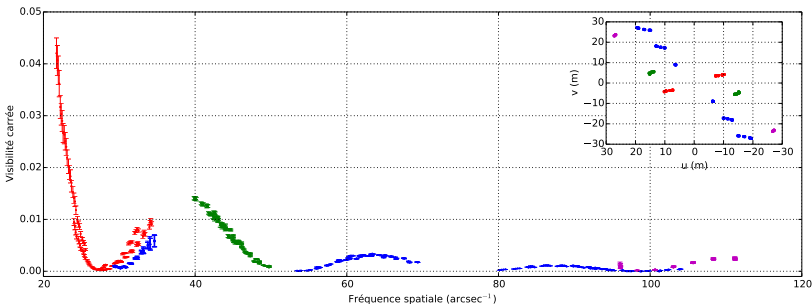
- 3 époques (2012, 2013 and 2014) sur 2 configurations du VLTJ
- Suivi du diamètre de l'étoile
- Analyse de la convection de l'étoile
 (Observations CHARA/MIRC perdues pour cause de mauvais temps en 2012 et 2013)

VLTI/PIONIER - Janvier 2012



- 4 télescopes
- Bande H, BR spectrale ($R \sim 40$)
- 1 étoile étalon : Sirius (à 27° de Bételgeuse)
- Diaphragmes pour diminuer le flux incident

VLTI/PIONIER - Janvier 2012



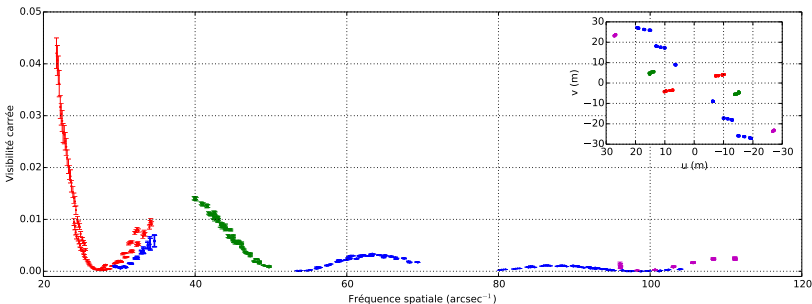
Paramètre	Valeur
PA non discriminé	
θ_{ACB} (mas)	$60,64 \pm 1,76$
α	$2,30 \pm 0,60$
χ_r^2	118

Paramètre	Valeur
PA $\sim 26^\circ$	
θ_{ACB} (mas)	$42,86 \pm 1,50$
α	$0,33 \pm 0,17$
χ_r^2	172

Paramètre	Valeur
PA $\sim 166^\circ$	
θ_{ACB} (mas)	$52,54 \pm 1,20$
α	$1,09 \pm 0,10$
χ_r^2	36,2

Ajustement aux fréquences spatiales $< 38 \text{ arcsec}^{-1}$

VLTI/PIONIER - Janvier 2012



Paramètre	Valeur
PA non discriminé	
θ_{ACB} (mas)	$60,64 \pm 1,76$
α	$2,30 \pm 0,60$
χ_r^2	118

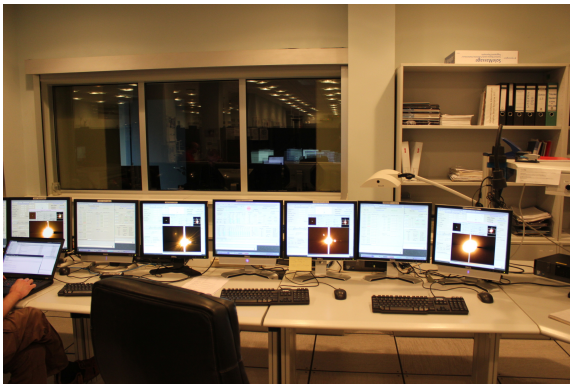
Paramètre	Valeur
PA $\sim 26^\circ$	
θ_{ACB} (mas)	$42,86 \pm 1,50$
α	$0,33 \pm 0,17$
χ_r^2	172

Paramètre	Valeur
PA $\sim 166^\circ$	
θ_{ACB} (mas)	$52,54 \pm 1,20$
α	$1,09 \pm 0,10$
χ_r^2	36,2

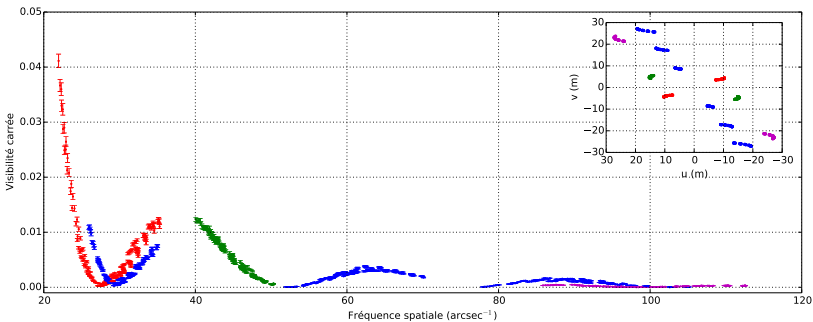
Ajustement aux fréquences spatiales $< 38 \text{ arcsec}^{-1}$

$\Rightarrow \chi_r^2$ élevé + variation de diamètre de 25 %

VLTI/PIONIER - Février 2013

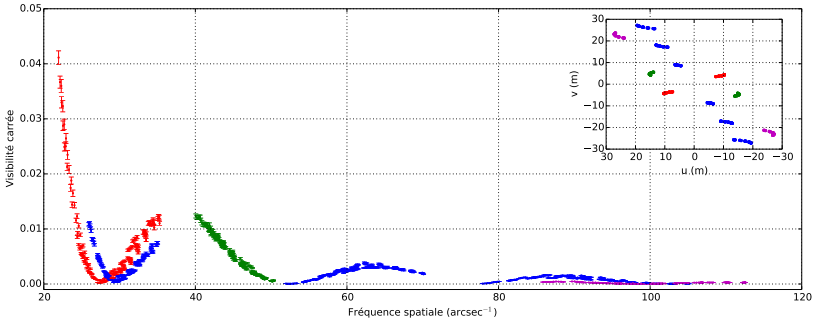


VLTI/PIONIER - Février 2013



- 4 étoiles étalons ($d < 10^\circ$ de Bételgeuse)
- Densité neutre pour diminuer le flux incident

VLTI/PIONIER - Février 2013



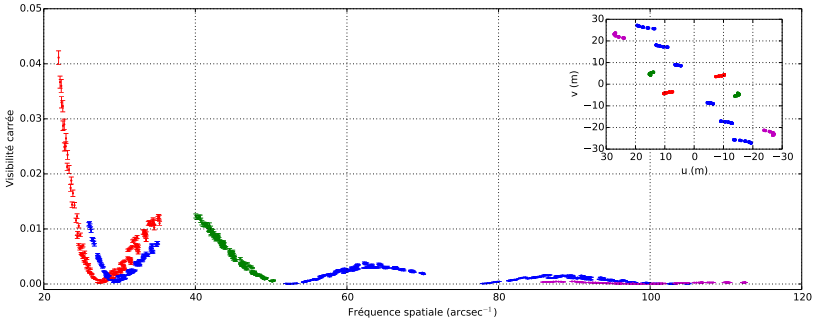
Paramètre	Valeur
PA non discriminé	
θ_{ACB} (mas)	$53,6 \pm 1,70$
α	$1,41 \pm 0,43$
χ_r^2	195

Paramètre	Valeur
PA $\sim 26^\circ$	
θ_{ACB} (mas)	$44,21 \pm 1,50$
α	$0,39 \pm 0,16$
χ_r^2	111

Paramètre	Valeur
PA $\sim 166^\circ$	
θ_{ACB} (mas)	$48,56 \pm 1,00$
α	$0,58 \pm 0,10$
χ_r^2	46,4

Ajustement aux fréquences spatiales $< 38 \text{ arcsec}^{-1}$

VLTI/PIONIER - Février 2013



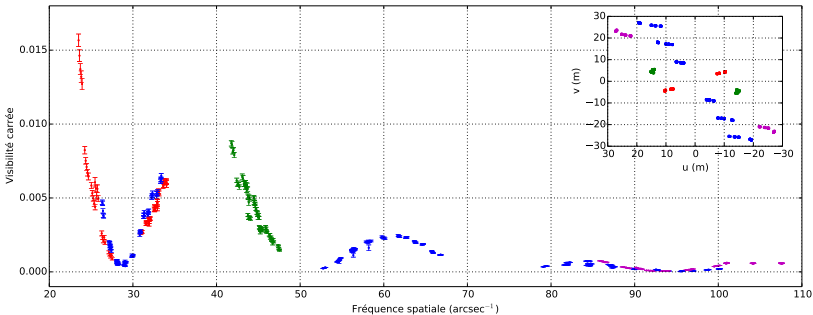
Paramètre	Valeur
PA non discriminé	
θ_{ACB} (mas)	$53,6 \pm 1,70$
α	$1,41 \pm 0,43$
χ_r^2	195

Paramètre	Valeur
PA $\sim 26^\circ$	
θ_{ACB} (mas)	$44,21 \pm 1,50$
α	$0,39 \pm 0,16$
χ_r^2	111

Paramètre	Valeur
PA $\sim 166^\circ$	
θ_{ACB} (mas)	$48,56 \pm 1,00$
α	$0,58 \pm 0,10$
χ_r^2	46,4

Ajustement aux fréquences spatiales $< 38 \text{ arcsec}^{-1}$
 $\Rightarrow \chi_r^2$ élevé + variation de diamètre de 10 %

VLTI/PIONIER - Janvier 2014



Paramètre	Valeur
PA non discriminé	
θ_{ACB} (mas)	$53,43 \pm 1,24$
α	$1,27 \pm 0,17$
χ_r^2	83,3

Paramètre	Valeur
PA $\sim 26^\circ$	
θ_{ACB} (mas)	$50,66 \pm 1,10$
α	$0,96 \pm 0,13$
χ_r^2	41,3

Paramètre	Valeur
PA $\sim 166^\circ$	
θ_{ACB} (mas)	$53,78 \pm 1,0$
α	$1,32 \pm 0,10$
χ_r^2	29,1

Ajustement aux fréquences spatiales $< 38 \text{ arcsec}^{-1}$

$\Rightarrow \chi_r^2$ élevé et variation de diamètre de 6 %

Problématique de l'anomalie du 1er lobe

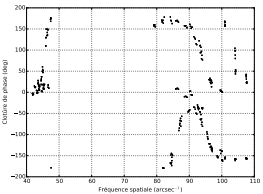
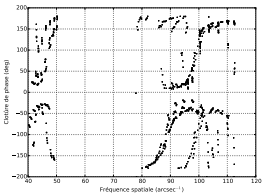
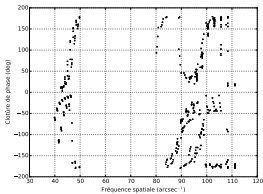
- Données 2011 : échantillonnage suivant une seule direction du plan (u, v)

Problématique de l'anomalie du 1er lobe

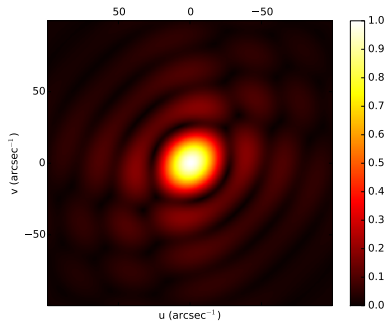
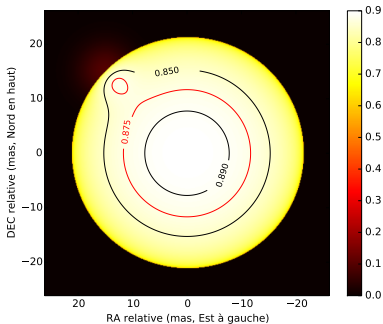
- Données 2011 : échantillonnage suivant une seule direction du plan (u, v)
- Présente en 2012, 2013 et 2014

Problématique de l'anomalie du 1er lobe

- Données 2011 : échantillonnage suivant une seule direction du plan (u, v)
- Présente en 2012, 2013 et 2014
- Clôtures de phase incompatibles avec une « simple » élongation de l'étoile



La signature d'un point chaud



$$I(M) = \underbrace{w_{\text{ACB}} \times (\cos \psi)^\alpha}_{\text{Disque ACB}} + \underbrace{w_{\text{spot}} \times \exp \left[\frac{(x - x_{\text{spot}})^2 + (y - y_{\text{spot}})^2}{2\sigma_{\text{spot}}^2} \right]}_{\text{Point chaud gaussien}}$$

Principe de l'ajustement

⚠ Difficulté : taille de l'étoile non-indépendante du point chaud

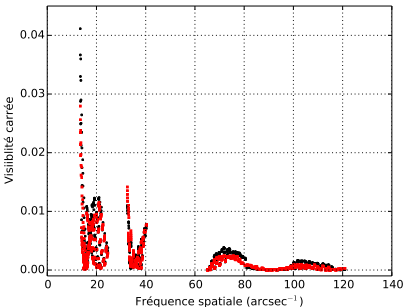
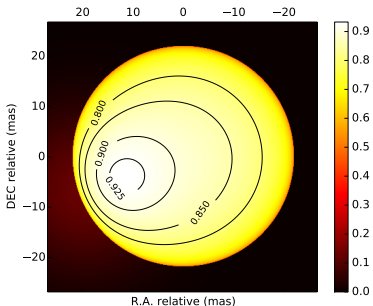
Principe de l'ajustement

- ⚠ Difficulté : taille de l'étoile non-indépendante du point chaud
- Cartes de χ^2 fonctions de la position ; θ_{ACB} , α_{ACB} et $(I_{\star} - I_{spot})$ ajustés sur chaque cellule, pour différentes tailles de point chaud

Principe de l'ajustement

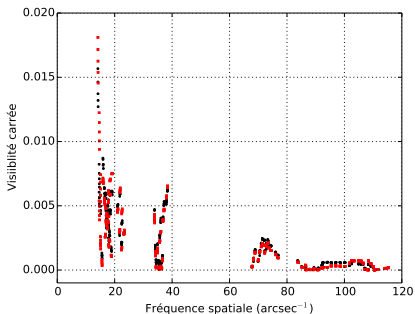
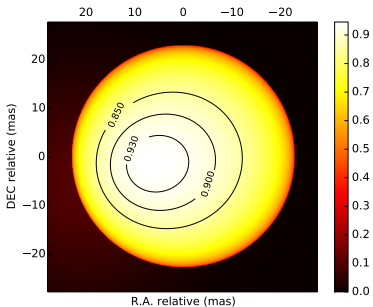
- ⚠ Difficulté : taille de l'étoile non-indépendante du point chaud
- Cartes de χ^2 fonctions de la position ; θ_{ACB} , α_{ACB} et $(I_{\star} - I_{spot})$ ajustés sur chaque cellule, pour différentes tailles de point chaud
- ⇒ Valeurs préliminaires pour un ajustement L-M des paramètres

Meilleur ajustement - Février 2013



$$\chi_r^2 = 43,3 \text{ (fréquences spatiales } < 50 \text{ arcsec}^{-1}\text{)}$$

Meilleur ajustement - Janvier 2014



$$\chi_r^2 = 51,6 \text{ (fréquences spatiales } < 50 \text{ arcsec}^{-1}\text{)}$$

Basses fréquences spatiales : discussion

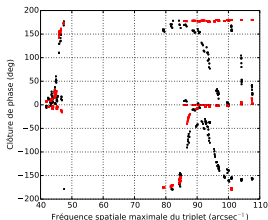
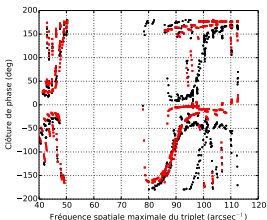
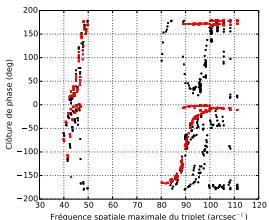
- $\chi_r^2 > 30 \rightarrow$ Utilisation d'une gaussienne non-symétrique ?

Basses fréquences spatiales : discussion

- $\chi_r^2 > 30 \rightarrow$ Utilisation d'une gaussienne non-symétrique ?
- Compagnon ?

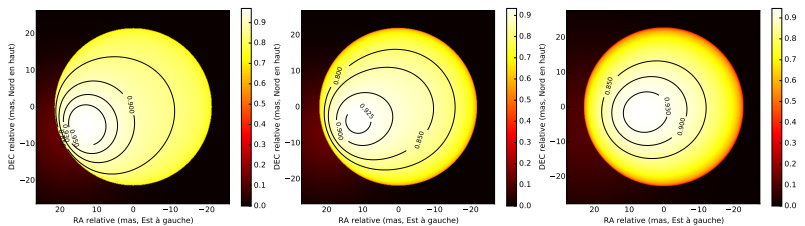
Basses fréquences spatiales : discussion

- $\chi_r^2 > 30 \rightarrow$ Utilisation d'une gaussienne non-symétrique ?
 - Compagnon ?
- \rightarrow Exclu par les clôtures de phase + distance à la primaire (0,1'')

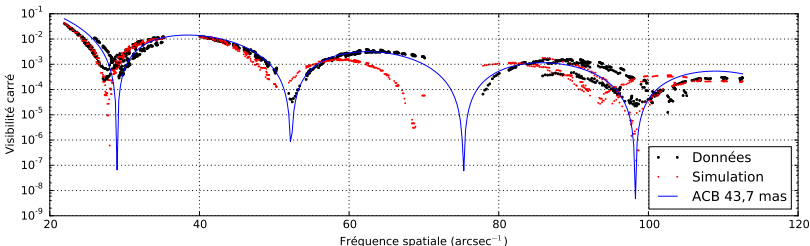


Basses fréquences spatiales : discussion

- $\chi_r^2 > 30 \rightarrow$ Utilisation d'une gaussienne non-symétrique ?
 - Compagnon ?
- \rightarrow Exclu par les clôtures de phase + distance à la primaire (0,1")
- \Rightarrow Basses fréquences spatiales = suivi d'un point chaud (diamètre étoile ~ 42 mas)



Hautes fréquences spatiales : simulations RHD (2013)



Paramètre	Bételgeuse	Modèle
M (M _⊙)	11,6	12
L (L _⊙)	1,27 × 10 ⁵	9,19 × 10 ⁴
R (R _⊙)	897	830
T _{eff} (K)	3640	3487
log(<i>g</i>)	-0,3	-0,335

$$\chi_r^2 \sim 32$$

Hautes fréquences spatiales : discussion

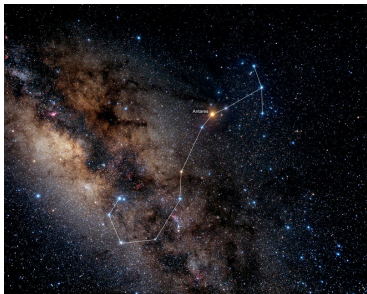
- Difficulté : basses fréquences spatiales
- Essayer un recollement de la transformée de Fourier ?

Bételgeuse avec VLT/PIONIER : perspectives et bilan

- Suivi d'un point chaud sur la photosphère
- 4^{ème} et dernière époque pour décembre 2014
- Travail en cours pour la modélisation des hautes fréquences spatiales
- Question : que représente une mesure du diamètre suivant une seule direction du plan (u, v) ?

- Article en préparation

Antarès : α Scorpii



Crédits : <http://www.abc.net.au/science/starhunt/>

Quelques chiffres

- m (visible) = 0,91
- m (IR) = -3,79
- $M = 15 \pm 5 M_{\odot}$
- $\theta \sim 37$ mas
- $d \sim 170$ pc
- Type spectral : M0.5Iab

L₂ Puppis ID card

- M5III, étoile variable SRa (type Mira) : P = 141 j
- Déplacement astrométrique périodique de 9,5 mas (Hipparcos)
- La plus proche des étoiles AGB (64 ± 4 pc, $m_V \sim 5$)
- Magnitude moyenne en augmentation depuis ~ 20 ans (Bedding et al. 2002)

Imagerie IR VLT/NACO

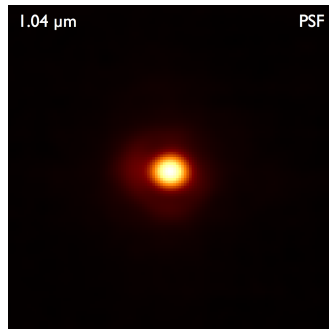
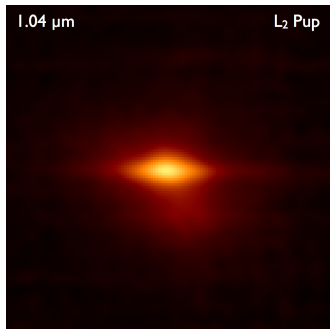
- Optique adaptative

Imagerie IR VLT/NACO

- Optique adaptative
- Utilisation du lucky-imaging (cubes de 5 000 poses de ~ 5 ms)

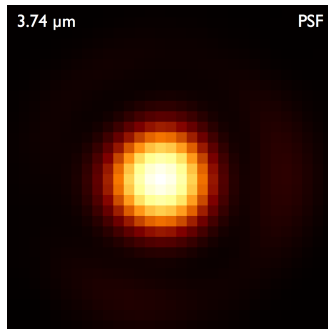
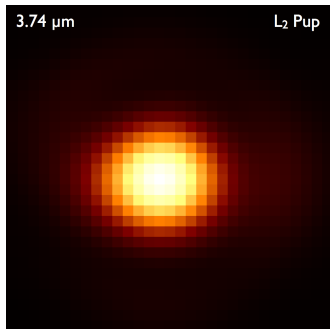
Imagerie IR VLT/NACO

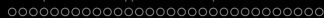
- Optique adaptative
- Utilisation du lucky-imaging (cubes de 5 000 poses de ~ 5 ms)
- 12 filtres à bande étroite en bandes *JHKL*
- Observation d'étoiles FEP pour la déconvolution (β Col)



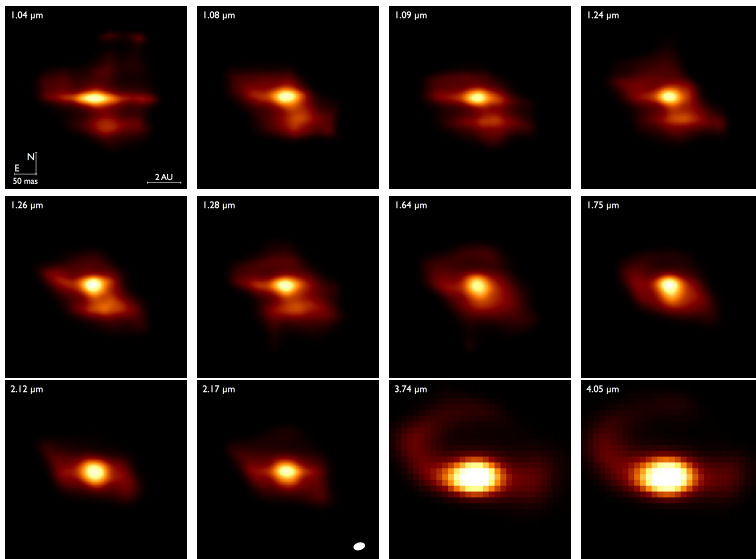
Imagerie IR VLT/NACO

- Optique adaptative
- Utilisation du lucky-imaging (cubes de 5 000 poses de ~ 5 ms)
- 12 filtres à bande étroite en bandes *JHKL*
- Observation d'étoiles FEP pour la déconvolution (β Col and α Lyn)





Images déconvoluées



Modélisation de l'étoile

Observations VLT/VINCI

- L₂ Pup observée par VLT/VINCI début 2001
- Bande K ($\lambda = 2,0 - 2,4 \mu\text{m}$)

Modélisation de l'étoile

Observations VLT/VINCI

- L₂ Pup observée par VLT/VINCI début 2001
- Bande K ($\lambda = 2,0 - 2,4 \mu\text{m}$)
- ⚠ Prise en compte de l'environnement circumstellaire

RADMC-3D : code de transfert radiatif Monte-Carlo

(Dullemond 2012)

Utiliser le code

- Étape 1 : grille, densités de poussières, et caractéristiques de l'étoile
- Étape 2 : simulation Monte-Carlo ⇒ température de la poussière
- Étape 3 : diffusion ⇒ image

RADMC-3D : code de transfert radiatif Monte-Carlo

(Dullemond 2012)

Utiliser le code

- Étape 1 : grille, densités de poussières, et caractéristiques de l'étoile
- Étape 2 : simulation Monte-Carlo ⇒ température de la poussière
- Étape 3 : diffusion ⇒ image

Contraintes/Paramètres

- Paramètres : géométrie, lois de densité, nature des poussières
- Contraintes : morphologie, photométrie

Paramètres ajustés

Géométrie du disque

$$H(r) = H_{\text{ext}} \left(\frac{r}{R_{\text{ext}}} \right)^{\alpha}$$

Densité du disque

$$\sigma^i(r) = \sigma_{\text{ext}}^i \left(\frac{r}{R_{\text{ext}}} \right)^{\beta}$$

Paramètres ajustés

Géométrie du disque

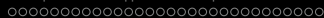
$$H(r) = H_{\text{ext}} \left(\frac{r}{R_{\text{ext}}} \right)^{\alpha}$$

Densité du disque

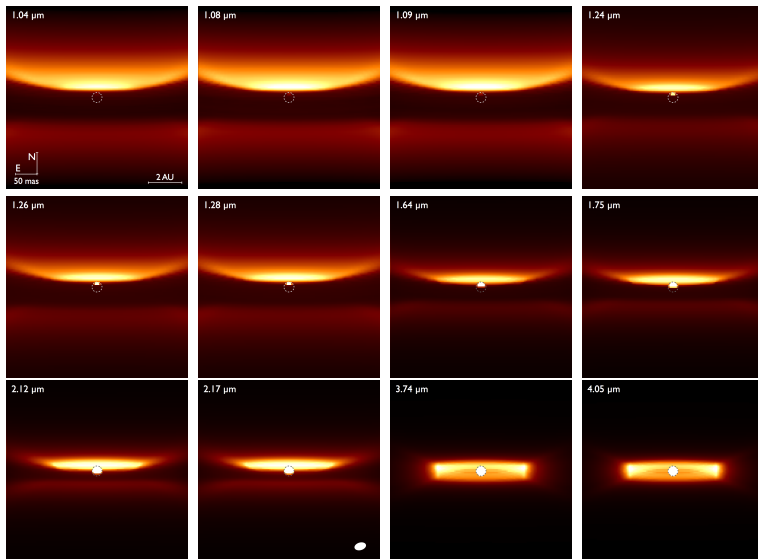
$$\sigma^i(r) = \sigma_{\text{ext}}^i \left(\frac{r}{R_{\text{ext}}} \right)^{\beta}$$

Disque (morphologie + photométrie)

- $R_{\text{int}} = 6 \text{ UA}$
- $R_{\text{ext}} = 120 \text{ UA}$
- $\alpha = -3,5$
- $H_{\text{ext}} = 0,8 \text{ rad}$
- Inclinaison = 84°



Modèle final : images

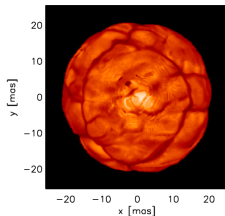


Bilan

- Imagerie directe d'un disque autour de la plus proche étoile AGB (Kervella, Montargès et al. 2014, *A&A*)

Conclusion

- Confirmation de la réalité de la convection des SGR
- + Comparaison Bételgeuse/Antarès

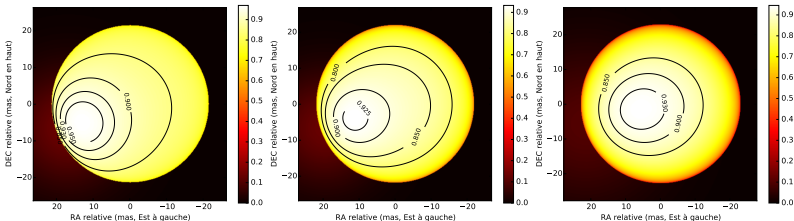


Conclusion

- Confirmation de la réalité de la convection des SGR
- + Comparaison Bételgeuse/Antarès
- Caractérisation de l'enveloppe moléculaire sur Bételgeuse

Conclusion

- Confirmation de la réalité de la convection des SGR
- + Comparaison Bételgeuse/Antarès
- Caractérisation de l'enveloppe moléculaire sur Bételgeuse
- Premier suivi de l'évolution de la surface d'une étoile autre que le Soleil
- Lien avec la perte de masse et/ou la convection ?



Perspectives

- Observations de Bételgeuse avec VLT/PIONIER en décembre 2014
- Analyse comparative d'observations du CSE en UV (HST) et IR (VLT/NACO)
- Observations IRAM et ALMA acceptées
- Poursuite de ce programme d'observation des SGR (VLT/SPHERE, VLTI/GRAVITY, VLTI/MATISSE)
- Elargissement de l'échantillon
- Poursuite des observations de L₂ Puppis

Perspectives

- Observations de Bételgeuse avec VLTI/PIONIER en décembre 2014
- Analyse comparative d'observations du CSE en UV (HST) et IR (VLT/NACO)
- Observations IRAM et ALMA acceptées
- Poursuite de ce programme d'observation des SGR (VLT/SPHERE, VLTI/GRAVITY, VLTI/MATISSE)
- Elargissement de l'échantillon
- Poursuite des observations de L₂ Puppis

